

霞ヶ浦水系におけるアユの生態学的研究—Ⅲ

霞ヶ浦における再生産個体群の出現と増加のメカニズム

根本 隆夫・中村 誠・杉浦 仁治

1. はじめに

冬季のアユ仔稚魚の大量分布が北浦で先に見られたため(根本, 1995), 霞ヶ浦水系のアユについての調査は北浦を中心に行ってきた。その結果これまでに北浦において陸封型の再生産個体群が存在していることが分かってきた(根本ら, 1997)。陸封型の再生産個体群が出現した事がアユ資源増加の原因と考えられるが, 今回は霞ヶ浦においてそのことを確認するためにアユの生態を調査した。調査は1996年春季のアユから開始し, これを親とする1996年級群の発生とその後の成長について追跡した。併せて霞ヶ浦水系におけるアユ増加のメカニズムについて検討したので報告する。

2. 方 法

(1) 親魚の分布と成長・成熟調査

1996年4月から霞ヶ浦の張網(小型定置網)で漁獲されたアユの魚体測定を行い成長を見た。標本は玉造町八木蒔(図1)での張網定期調査の漁獲物を利用した。7月にはトロール(わかさぎ・しらうおひき網)漁期前調査において混獲されたアユについても測定した。

流入河川における遡上アユの分布及び成長, 成熟については1996年6月から恋瀬川を中心に霞ヶ浦の5つの流入河川(恋瀬川, 桜川, 一の瀬川, 菱木川, 梶無川)で調査した。調査には目合40節, 30節, 21節, 14節の4種類の投網を用いた。漁獲物は10%ホルマリン溶液で固定して持ち帰り, 水道水で洗浄した後魚体測定を行った。

(2) 親魚の食性調査

霞ヶ浦湖内のアユは主に張網で漁獲されている

が, 張網は朝に水揚げするため昼行性のアユは前日に入網し, 朝までに胃内容物の消化が進んでいることと, 張網内部での捕食が考えられることから調査せず, 1996年7月上旬のトロール漁期前調査で混獲されたアユのみについて調査した。恋瀬川のアユは1996年6月から11月にかけて採捕されたものについて調査した。調査方法は, 魚体測定後に胃を摘出し内容物を実体顕微鏡を用いて観察し, 餌料の種類別に出現率を求めるとともに, 目視により主餌料を判断した。

(3) 産卵状況調査

1996年秋季に成熟アユが分布する恋瀬川において行った。10月3日と11月4日の2回, 調査定点のうち親アユが分布する底質の良好な場所を選んで底質を採取し, 目視によりアユ産着卵の有無を確認した。特に成熟アユの多い地点においてはサーバーネット(25cm×25cm)による底質の枠取りをし, 10%ホルマリン溶液で固定して持ち帰り, 水道水で洗浄し, 0.1規定水酸化カリウム溶液に6時間浸漬した後, 実体顕微鏡を用いてアユ卵の有無を確認した。

(4) 降下仔魚調査

流入河川におけるふ化後のアユ仔魚の降下移動を確認するため, 秋季に成熟アユが分布する恋瀬川において調査を行った。1996年10月31日と11月15日の2回, 河口から約4km上流の千代田町東野寺の川幅約14mの地点において河川の中央部に稚魚ネット(口径35cm, 目合230 μ m, 側長80cm)を流れに対して平行に設置した。調査は17時に開始し, 1時間おきに5分間ずつ行った。採集物は10%ホルマリン溶液



図1 霞ヶ浦及びその流入河川における調査地点

で固定して持ち帰り、水道水で洗浄した後実体顕微鏡を用いて仔魚を計数し、20倍の万能投影機を用いて大きさを測定した。

(5) 霞ヶ浦仔稚魚の分布・成長調査

降下後から稚魚期にかけてのアユの分布、移動及び成長を確認するために、恋瀬川が流入する霞ヶ浦

高浜入から湖心にかけて調査を行った。1996年10月から1997年4月にかけて月2回、図1の6定点で稚魚ネット（口径100cm、目合500 μ m、側長300cm）を曳航し、アユ仔稚魚の採集を試みた。曳航速度は1.1m/s、時間は5分間で表層曳きとした。採集物は10%ホルマリン溶液で固定して持ち帰り、水道水で洗浄した後測定した。

(6) 霞ヶ浦稚若魚の分布・成長調査

霞ヶ浦沖帯に分布する遊泳力のついたアユの成長状況を把握するために、1996年12月から1997年4月まで月1～2回、霞ヶ浦の下玉里、八木蒔、内水試前、田伏、湖心の5点(図1)でビームトロールを曳網した。曳網速度は1.4m/s、曳網時間は10分間で表層曳きとした。1月上旬の調査のみ湖内全域のアユの分布状況を把握するため調査点を10点に増やした。3月までは小型網を使用したが、アユの成長に伴う採集尾数の減少を考慮して4月は大型網を使用した。更に5月以降は網口を広げるため開口板を用い、大型網を八木蒔、田伏、湖心の3点で曳網した。曳網速度は1.4m/s、曳網時間は20分間で表層曳きとした。表1に調査に使用した漁具漁法の種類をまとめた。採集物は冷却して持ち帰り、生鮮状態で測定した。

表1 試験トロール漁具漁法の種類

漁法	ビームトロール		開口板トロール
	小型網	大型網	大型網
網口	4.0m	5.0m	10.0m
袖網丈	1.5m	3.0m	3.0m
袖網長	4.5m	8.7m	8.7m
魚取部目合	1.5mm	3.0mm	3.0mm
曳網層	表層	表層	表層
曳網速度	1.4m/s	1.4m/s	1.4m/s
曳網時間	10min	10min	20min
使用期間	12～3月	4月	5～10月

(7) 1996年級群の漁獲物調査

霞ヶ浦の漁業者によるアユ1996年級群の冬季の混獲状況及び春季から秋季の漁獲状況を把握するとともに、試験トロールでは採集が困難な岸帯に分布するアユの成長を把握するために漁獲物調査を行った。1996年12月から1997年1月の間は霞ヶ浦で操業されている漁業者のトロール、横曳網(いさざ・ごろひき網)、張網等におけるアユ稚魚の混獲状況を聞き取り等により調査するとともに、混獲されたアユ稚魚の魚体測定を行った。1997年3月から9月にかけては霞ヶ浦におけるアユの主漁法である岸帯の張網の漁獲状況と漁獲物を同様に調査した。

(8) 1996年級群の流入河川分布、成長状況調査

1997年4月から10月にかけて恋瀬川におけるアユの分布状況と成長状況を把握するため投網調査を行った。調査方法は前年と同様とした。また、調査時に河川水温の測定を行い、霞ヶ浦の水温と比較した。霞ヶ浦の水温は内水試棧橋の日々の測定データを用いた。

3. 結果

(1) 親魚の分布

1996年に霞ヶ浦の張網においてアユの入網は3月から確認されたが、漁獲量が多くなったのは6月からであった。玉里村の漁業者の中には6月上旬に1日18kgの漁獲があった人がいた。同時期に玉造町、麻生町、美浦村等霞ヶ浦の広域に渡ってアユの漁獲が確認された。7月3日に行われたトロール漁期前調査においては湖心、土浦入、高浜入の各点でアユがまとまって漁獲され、特に高浜入においてはワカサギの漁獲量より多かった。これにより霞ヶ浦沖合においてもアユが多く分布することが分かった。しかし、7月中旬以降は漁獲量が減少した。

6月からの流入河川調査では、恋瀬川において支流の川又川、天の川を含む中流域から上流域にかけての広範囲でアユが採捕された(表2)。特に多く採捕されたのは本流の半田と川又川の石沢橋、小桜第一堰であった。調査地点は全て農業用の取水堰がある場所に設定したが、石沢橋定点の可動堰は堰高が高く、堰が閉まっている時は魚の遡上ができない状態にあり、堰下流側にアユやオイカワ等が多く分布していた。恋瀬川においては6月から11月までの間継続的にアユが確認され、湖内のように夏季以降にアユの分布が減少する様子は見られなかった。投網による採捕数は7月以降少なくなったが、遊泳しているアユが多く見られたため、とりづらくなることが影響していると考えられた。

表2 恋瀬川の投網調査によるアユ採捕結果（1996年）

単位：尾

地点\月日		6.28	7.25	8.21	9.19	10.3	11.4
本流	1 八貝橋	0	3	0	—	—	—
	2 浦須	4	0	0	0	—	—
	3 片野	5	1	1	1	0	—
	4 半田	6	7	1	4	0	0
川又川	6 石沢橋	2	2	0	8	6	2
	7 加生野	—	0	3	0	—	—
	8 小桜第一堰	12	0	0	2	8	—
天の川	9 中佐谷堰	0	0	0	—	—	—
	10 新治橋	2	1	3	1	0	—
合計		31	14	8	16	14	2

注) —は、欠測

一方、流入河川の中で最大の桜川においてアユが採捕されたのは、新治村の田土部堰1点のみであった。田土部堰は堰高約2mの可動堰であるが魚道がなく、水田のかんがい期はほとんど閉まった状態にあるため堰上流側へのアユの遡上が困難であると見られた。また、9月以降は田土部堰においても採捕できなかった。その他の流入河川は菱木川を除く全ての調査河川においてアユの分布が確認されたが、流程が短く調査場所も限られたため定期的な調査は行わなかった。恋瀬川以外の流入河川におけるアユの採捕結果については1997年の結果も併せて表3に示した。以下の流入河川の調査結果は広範囲で継続的にアユが採捕された恋瀬川の結果のみを示す。

表3 その他の河川での投網調査によるアユ採捕結果（1996年～1997年）

〈桜川〉 1996年						1997年			
地点\月日	6.18	7.22	8.30	9.27	10.22	4.30	6.17	9.24	10.20
3 小田堰	0	—	—	—	—	—	1	3	—
4 田土部堰	3	30	3	0	0	10	31	1	1

〈一の瀬川〉 1996年			〈梶無川〉 1996年			〈園部川〉 1997年	
地点\月日	7.22	8.30	地点\月日	8.2	8.5	地点\月日	7.29
1 あたご橋	3	4	八発句橋	5	5	月見橋	4
2 晩田橋	4	3					

注) —は、欠測

(2) 親魚の成長

図2に1996年4月から11月にかけて霞ヶ浦及び恋瀬川において採捕されたアユの標準体長（SL）の推移を示した。4月に霞ヶ浦の張網で漁獲されたアユは平均体長7.3cmであったが、5月には平均9.9cmと大きくなった。しかし、最大13.4cm、最小6.4cmとばらつきが見られた。6月には平均11.8cmと更に大きくなったが、7月上旬のトロール漁期前調査のアユは平均11.4cmとほぼ変わらなかった。またトロールでは最小6.6cmのアユが採捕され、6月の張網で少なかった8～10cm台の小型のアユも多かった。

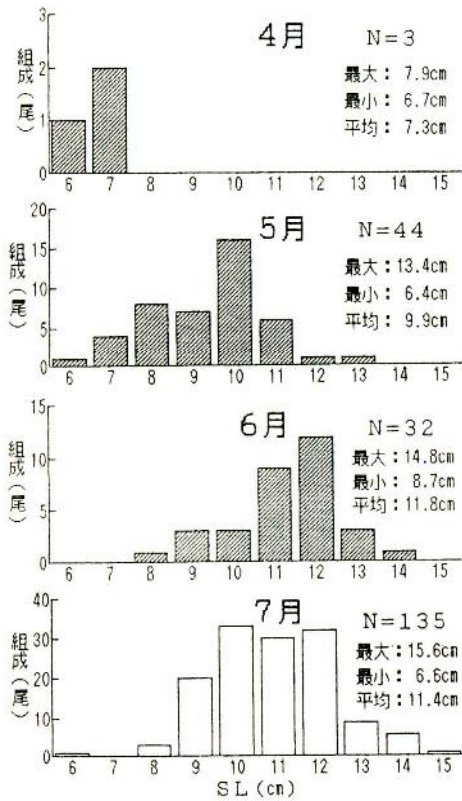
恋瀬川のアユは6月に平均体長10.0cmであったがその後徐々に大きくなり、9月には平均13.4cmとなった。その後、成長の様子は見られなかった。

(3) 親魚の食性

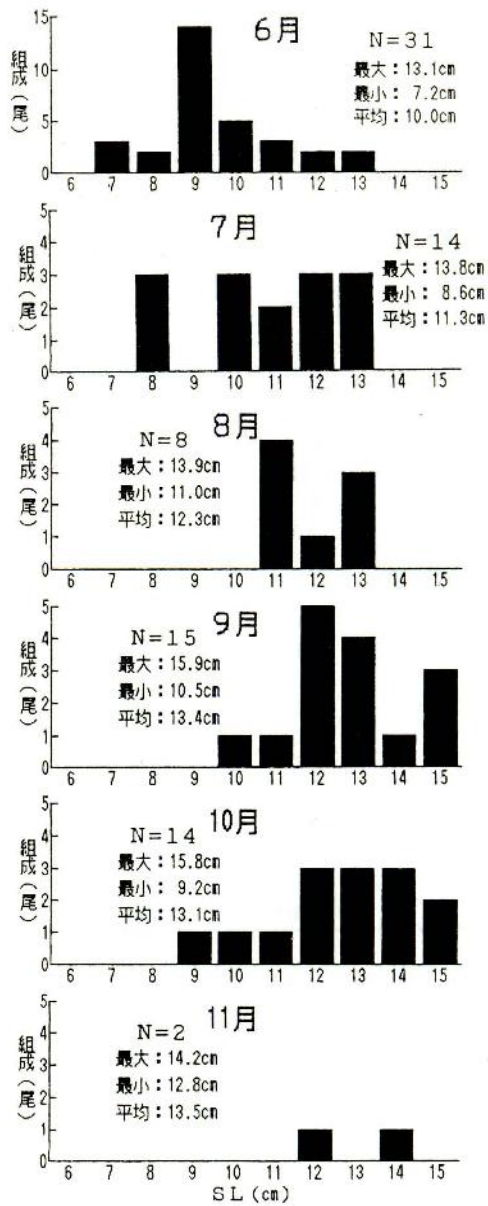
1996年6月から11月に霞ヶ浦及び恋瀬川において採捕されたアユの胃内容を調査した結果を表4に餌料捕食率として示した。霞ヶ浦において7月上旬のトロール漁期前調査で漁獲されたアユのうち湖心ではユスリカを主体に捕食していた。湖心では他の点と同様の下層曳きに加えて上層曳きも行ったが、上層で羽アリの捕食が見られた以外は大差がなかった。また、小型個体はより小さい餌であるミジンコ類の占める割合が高かった。

土浦入と高浜入ではイサザアミを主体に捕食しており、湖心と比べ餌料種類数が多かった。中にはハ

霞ヶ浦



恋瀬川



霞ヶ浦: 張網
 トロール
恋瀬川: 投網

図2 霞ヶ浦と恋瀬川で漁獲されたアユの体長 (1996年)

表4 霞ヶ浦及び恋瀬川におけるアユの餌料捕食率（1996年）

水 域	霞ヶ浦			
	湖 心 上 層	湖 心 下 層	土浦入 下 層	高浜入 下 層
月	7	7	7	7
日	3	3	3	3
漁 法	トロール	トロール	トロール	トロール
尾 数	10	10	10	10
平均体長 (cm)	10.6	11.4	11.8	11.4
ミジンコ類	50.0	60.0		60.0
イサザアミ	20.0	20.0	100.0	80.0
ユスリカ蛹～成虫	100.0	70.0	80.0	
ユスリカ幼虫				10.0
陸生昆虫 (羽アリ)	10.0		10.0	
ハゼ類稚魚			20.0	30.0
シラウオ稚魚			20.0	10.0
付着藻類				50.0
餌料種類数	4	3	5	6
主要餌料	ユスリカ蛹	ユスリカ蛹	イサザアミ	イサザアミ

水 域	恋瀬川					
	6	7	8	9	10	11
月	6	7	8	9	10	11
日	28	25	21	19	3	4
漁 法	投 網	投 網	投 網	投 網	投 網	投 網
尾 数	31	14	8	15	14	2
平均体長 (cm)	10.0	11.3	12.3	13.4	13.1	13.5
カイミジンコ類	9.7					
ユスリカ幼虫	74.2	14.3	12.5	46.7	42.9	50.0
ユスリカ蛹	35.5	7.1			7.1	
ガガンボ類	19.4					
ブユ類	3.2					
カゲロウ類	32.3				28.6	
トビゲラ類	6.5	7.1				
陸生昆虫	19.4					
ダニ類	6.4					
イトミミズ	6.4					
不明卵	19.4			13.3	35.7	
付着藻類	77.4	100.0	100.0	100.0	85.7	100.0
植物の種子	6.5					
植物片	3.2	7.1				
水わた	6.4	7.1				
オキアミ (釣り餌)	3.2					
空 胃					7.1	
餌料種類数	16	6	2	3	5	2
主要餌料	付着藻類	付着藻類	付着藻類	付着藻類	付着藻類	付着藻類

ゼ類とシラウオの稚魚を捕食している個体もあった。この他、高浜入では半数の個体で付着性藻類を摂食しているものが見られ、ベントスであるユスリカ幼虫の捕食も確認された。湖内で採捕されたアユの付着性藻類の摂食は北浦では確認されていたが（根本ら，1997），霞ヶ浦では初確認である。

一方、恋瀬川のアユは6月から付着性藻類を主体

に摂食していたが、6月はユスリカやカゲロウ等動物性の餌も多く捕食しており、餌料種類数が多かった。7月以降は種類数が徐々に減少し、付着性藻類主体の単純食性となっていった。調査時においてもアユが河床の石や床止めブロック等に付着している藻類をはむ行動や「はみあと」が頻繁に観察された。付着性藻類以外にはユスリカ幼虫の捕食率が高かつ

たが、1個体に1～数尾程度で重量的にはわずかであった。

(4) 親魚の成熟と産卵

図3に恋瀬川で採捕されたアユの肥満度組成の推移を示した。肥満度 (CF) は、 $CF = \text{体重}g / (\text{体長}cm)^3 \times 1000$ で算出した。6月下旬の平均肥満度は14.2で、その後少しずつ大きくなり9月中旬には15.4で最大となった。10月以降は逆に小さくなった。

図4に恋瀬川で採捕されたアユの生殖腺体重比 (GSI) を示した。GSI (%) = $\text{生殖腺重量}g / \text{体重}g \times 100$ で算出した。7月までのアユは生殖腺が未熟で確認も困難であった。8月下旬のアユは、平均0.2%で発達し始めと見られた。9月中旬のアユは最大22.9%、平均8.7%と発達していた。また、外見からも2次性徴の特徴である体表のオレンジ色の縦線が出ている個体があり、尻鰭が短くて追星がある雄と長く伸びる雌の差が明確に分かった。10月のアユも平均7.9%と大きくてサビの強い個体が多かったが、中にはまだ卵粒が小さく未成熟の個体も見られた。11月上旬のアユは2尾のみ (雄1, 雌1) でサビが強かったが、痩せており生殖腺も小さかったので放卵放精後の個体と見られた。

恋瀬川で行った産卵場調査では、現場で目視によつての産着卵の確認はできなかった。成熟アユが採捕された支流川又川の石沢橋と小桜第一堰定点では底質の粹取りをし検鏡したが、10月3日の小桜第一堰の底質からのみ若干のアユ卵が発見された (表5)。発見された卵は径が約1mmで付着膜がある特徴が海産アユの卵 (宮地ら, 1992) と一致した。恋瀬川に分布する魚種のうちこのような特徴の卵を産

むのはアユとワカサギのみであり、産卵時期からアユ卵と同定した。恋瀬川でアユ産着卵が確認されたのはこれが初である。

アユ卵が発見された小桜第一堰は川又川とその支流小桜川の合流点の小桜川側にある。堰直下の渦流が起きている砂礫底で活卵が1個、合流点下の川又川の砂礫底で死卵が3個のみ採集された。採集時の水温は19.0℃であった。

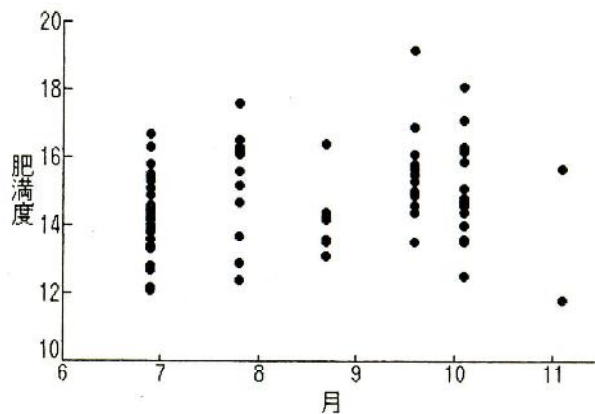


図3 恋瀬川におけるアユ肥満度の季節変化 (1996年)

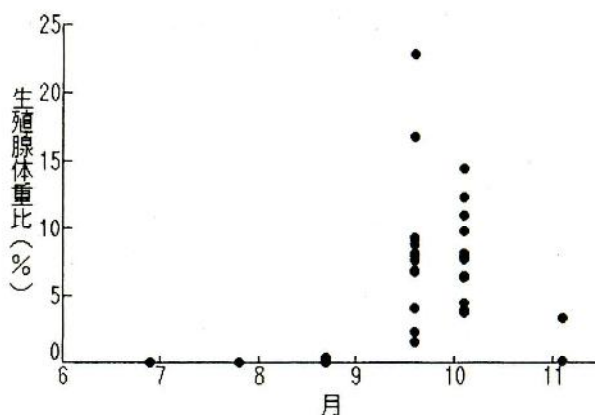


図4 恋瀬川におけるアユ生殖腺体重比の季節変化 (1996年)

表5 恋瀬川で確認されたアユ卵 (1996. 10. 3)

地点	場所	活卵 (未発眼)	死卵	計	卵径 (mm)	備考
St.8	小桜第一堰 (堰直下)	1	0	1	0.95	付着膜あり
St.8	小桜第一堰 (川又川合流点)	0	3	3	0.95~1.00	付着膜あり

(5) 降下仔魚の採集

1 回目 (10月31日) の調査は17時から23時まで行った。調査時の水温は16.6℃～16.2℃で、流速は平均31cm/sであった。採集された仔魚は細長く膜鱗に覆われており、いわゆる「シラス型」の仔魚であった。霞ヶ浦水系に分布する魚類で仔魚が「シラス型」なのは概ねワカサギ、シラウオ、アユの3種であるが、出現時期からアユ仔魚と判断される。また、幽門部が消化管の中央よりやや前方に位置している特徴からもワカサギ (消化管の中央)、シラウオ (消化管の前部1/3) ではなく (沖山, 1988), アユであると判断した。

採集されたアユ仔魚の全てが卵黄嚢を持っている前期仔魚 (岩井, 1985) であったが、卵黄嚢の大きさには差が見られた。図5に採捕仔魚の全長組成を示したが、全長範囲は5.3mm～6.9mmで、平均5.9mmであった。これは海産のアユのふ化時の全長が6.0mm程度で (宮地ら, 1992), 卵黄吸収時のサイズが6.6mm (沖山, 1988) という知見とも一致した。調査時間別採集尾数を表6に示した。この結果, 18時まではろ水計500回転あたりに換算した採集尾数が0～1.8尾と少なかったが, 19時以降10尾以上に増加し, 特に20時が71尾と多かった。調査を終了した23時も33尾で2番目に多かった。

2 回目の調査も17時から行ったが、現地において肉眼で仔魚の採集確認ができなかったことにより, 21時で調査を終了した。結局, 顕微鏡下でも1尾しか確認されなかった。

1 回目の調査時の採集尾数から調査時間帯のアユ仔魚の降下数を計算した。川のどの位置も流速及び仔魚の分布が均一であったと仮定し, 川の断面積が9.8㎡, 稚魚ネットの面積が約0.1㎡, ろ水率0.56から, 17時から23時までの6時間の降下仔魚数 (N) は以下の計算により,

$$N = \text{平均採集尾数} \times \text{面積比率} \times \text{時間} \times \text{ろ水率}$$

$$N = 15.1 \times (9.8/0.1) \times (6 \times 60/5) \div 0.56$$

$$= 190,260 \text{ (尾)}$$

約19万尾と推定された。

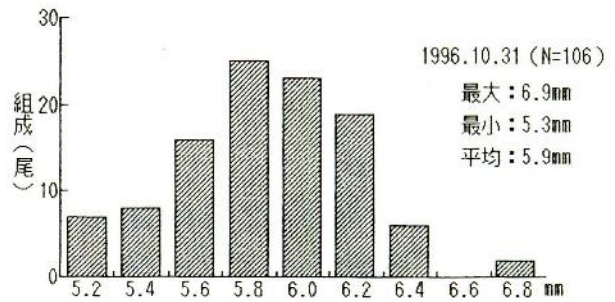


図5 恋瀬川におけるアユ降下仔魚の全長組成 (1996年)

表6 恋瀬川におけるアユ降下仔魚採捕結果 (1996年)

時刻	1996.10.31			1996.11.15		
	採捕数 (尾)	ろ水計回転数 (回転)	ろ水計500回転あたり採捕数 (尾)	採捕数 (尾)	ろ水計回転数 (回転)	ろ水計500回転あたり採捕数 (尾)
17:00	1	284	1.8	0	553	0.0
18:00	0	323	0.0	0	548	0.0
19:00	10	495	10.1	0	630	0.0
20:00	49	345	71.0	1	585	0.9
21:00	10	457	10.9	0	572	0.0
22:00	14	384	18.3	—	—	—
23:00	22	333	33.0	—	—	—

(6) 霞ヶ浦における仔稚魚の分布・成長

霞ヶ浦において1996年10月から1997年4月にかけて合計14回稚魚ネット調査を行ったが, アユ仔稚魚が採集されたのは10月上旬から3月上旬までの計11回であった (表7)。これにより冬の間1996年級群のアユ稚魚が霞ヶ浦に存在し続けていることが確認された。特に採集数が多かったのは最初 (10月9日) の500尾でその後徐々に減少した。調査地点別に見ると, 10月までは上流域の高崎, 下玉里で多く下流側ほど少ない傾向にあったが, 11月には多い範囲が徐々に下流側へ移り, 12月には最上流域の高崎では全くとれなくなった。その後もこの傾向は続き3月中旬まで分布の中心は内水試前から湖心にかけての下流域であった。

図6に10月から12月までの調査回毎の地点別アユ

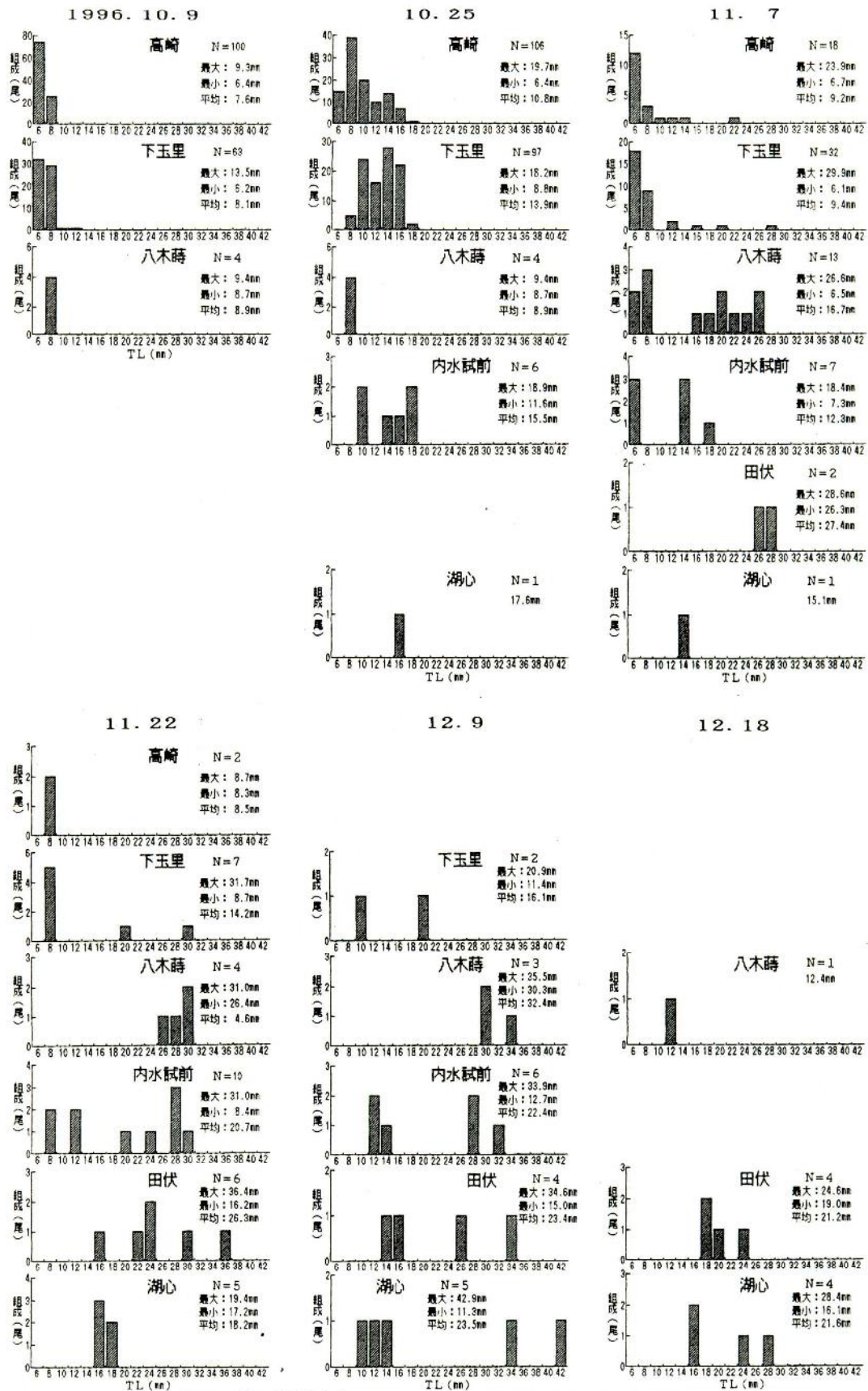


図6 霞ヶ浦稚魚ネットによるアユ仔稚魚の全長組成 (TL)

表7 霞ヶ浦稚魚ネットによるアユ仔稚魚採集結果 (1996年～1997年)

単位：尾

年月日 地 点	1996年						1997年					
	10.9	10.25	11.7	11.22	12.9	12.18	1.8	1.21	2.7	2.24	3.12	.3.26
1 高 崎	430	106	19	2	0	0	0	0	0	0	1	—
2 下玉里	66	97	34	7	2	0	1	0	2	0	0	0
3 八木蒔	4	4	14	4	3	1	1	0	0	0	0	—
4 内水試前	0	6	7	10	6	0	3	1	1	2	2	0
5 田 伏	0	0	2	6	4	4	6	4	2	5	3	—
6 湖 心	0	1	1	5	5	4	1	3	2	0	0	0
合 計	500	214	77	34	20	9	12	8	7	7	6	0

注) —は、欠測

の全長組成を示した。採集されたアユ仔稚魚は全長6.1mm～42.9mmの大きさで、上流側ほど小さい個体の割合が高く下流側へ行くほど徐々に大きくなる傾向が見られた。最上流域の高崎は恋瀬川の河口に近いが、恋瀬川の降下仔魚調査と同様に全長6mm台の小型魚がまとまって採集された。これはふ化後間もない仔魚の大きさである。6mm台の仔魚は11月7日の調査まで確認され、アユの産卵期がある程度の期間続いていることが示唆された。田伏から下流側の水域では期間を通して10mm以上に成長した稚魚のみ採集された。

(7) 霞ヶ浦沖帯の稚若魚の分布・成長

表8に霞ヶ浦湖内におけるトロール漁獲試験によるアユの採捕結果を示した。アユ稚魚が採捕されたのは12月から7月上旬までの期間であった。採捕尾数は徐々に減少したが、5月には開口板トロールに変えたため一時的に増加した。水域別に見るとアユは八木蒔より上流側で少なく、内水試前より下流側で多く漁獲されたが、その傾向は特に2月までの調査で顕著であった。1月8日に行った湖内全域の分布調査では全点でアユの分布が確認されたが、特に内水試前で多かった(図7)。土浦入と高浜入にお

いては上流域ほど採捕数が少ない傾向が見られ、湖中央部では沖側(湖心)で多くそれを取り囲む岸側の3点で少なかった。

1月8日の全域調査からこの時点での霞ヶ浦におけるアユ資源量を推定した。アユは表層にのみ分布し、表層ビームトロールによる漁獲率を100%と仮定すると、ビームトロール10分曳きの曳網面積(a)と霞ヶ浦(西浦)の面積(A)(茨城県, 1997)の比率とアユの平均採捕尾数(n)から、アユ資源尾数(N)は、

$$N = A/a \times n$$

$$= 171.5 \text{ km}^2 / 3,360 \text{ m}^2 \times 50.1 = 2,557,187 \text{ (尾)}$$

約250万尾と推定された。ただし、これは漁獲率を100%としているので、一番少なく見積もった数字である。

図8にトロールで漁獲されたアユ1996年級群の体長組成の変化を示した。12月から2月下旬までの平均体長は3.7～3.9cmで2ヶ月間全く成長の様子が見られなかった。3月になって平均4cm台となって若干大きくなった。4月以降は月2回の調査で平均体長は4.9cm, 6.2cm, 7.6cm, 8.5cm, 9.4cmと半月にほぼ1cmずつ大きくなる急激な成長が見られた。

表8 霞ヶ浦におけるトロール漁獲試験によるアユ採捕尾数

単位：尾

年	1996		1997						
月 日	12.18	1.8	1.21	2.7	2.24	3.12	3.26	4.9	4.25
漁 法	ビーム	ビーム	ビーム	ビーム	ビーム	ビーム	ビーム	ビーム	ビーム
網 規 模	小型	小型	小型	小型	小型	小型	小型	大型	大型
時 間	10分	10分	10分	10分	10分	10分	10分	10分	10分
2 下玉里	4	1	2	3	8	30	5	20	11
3 八木蒔	—	26	4	3	3	5	3	7	5
4 内水試前	18	176	17	6	37	30	15	19	18
5 田 伏	—	—	—	29	49	13	14	30	44
6 湖 心	225	92	102	32	18	3	1	6	1
計	247	295	125	73	115	81	38	82	79

年	1997									
月 日	5.9	5.21	6.11	6.25	7.9	7.23	8.27	9.17	10.1	
漁 法	開口板	開口板	開口板	開口板	開口板	開口板	開口板	開口板	開口板	開口板
網 規 模	大型	大型	大型	大型	大型	大型	大型	大型	大型	大型
時 間	20分	20分	20分	20分	20分	20分	20分	20分	20分	20分
2 下玉里	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3 八木蒔	20	18	93	9	4	0	0	0	0	
4 内水試前	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
5 田 伏	164	6	195	1	—	0	0	0	0	
6 湖 心	448	44	40	6	—	0	0	0	0	
計	632	68	328	16	4	0	0	0	0	

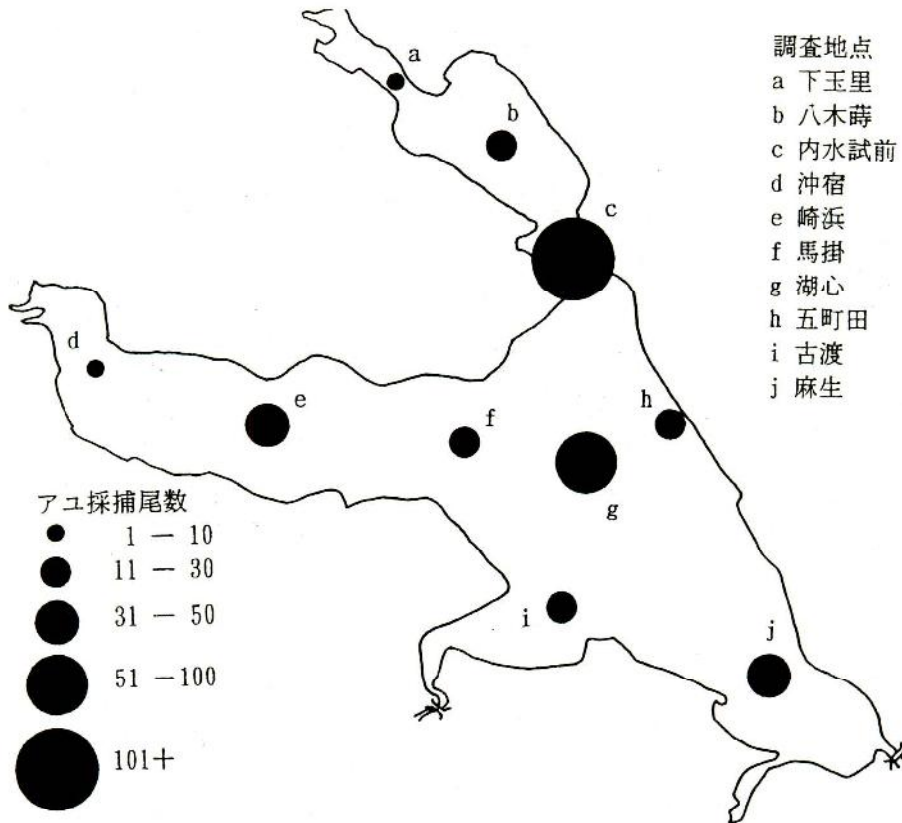


図7 霞ヶ浦における冬季のアユ分布状況（1997年1月8日）ビームトロール10分曳き採捕結果

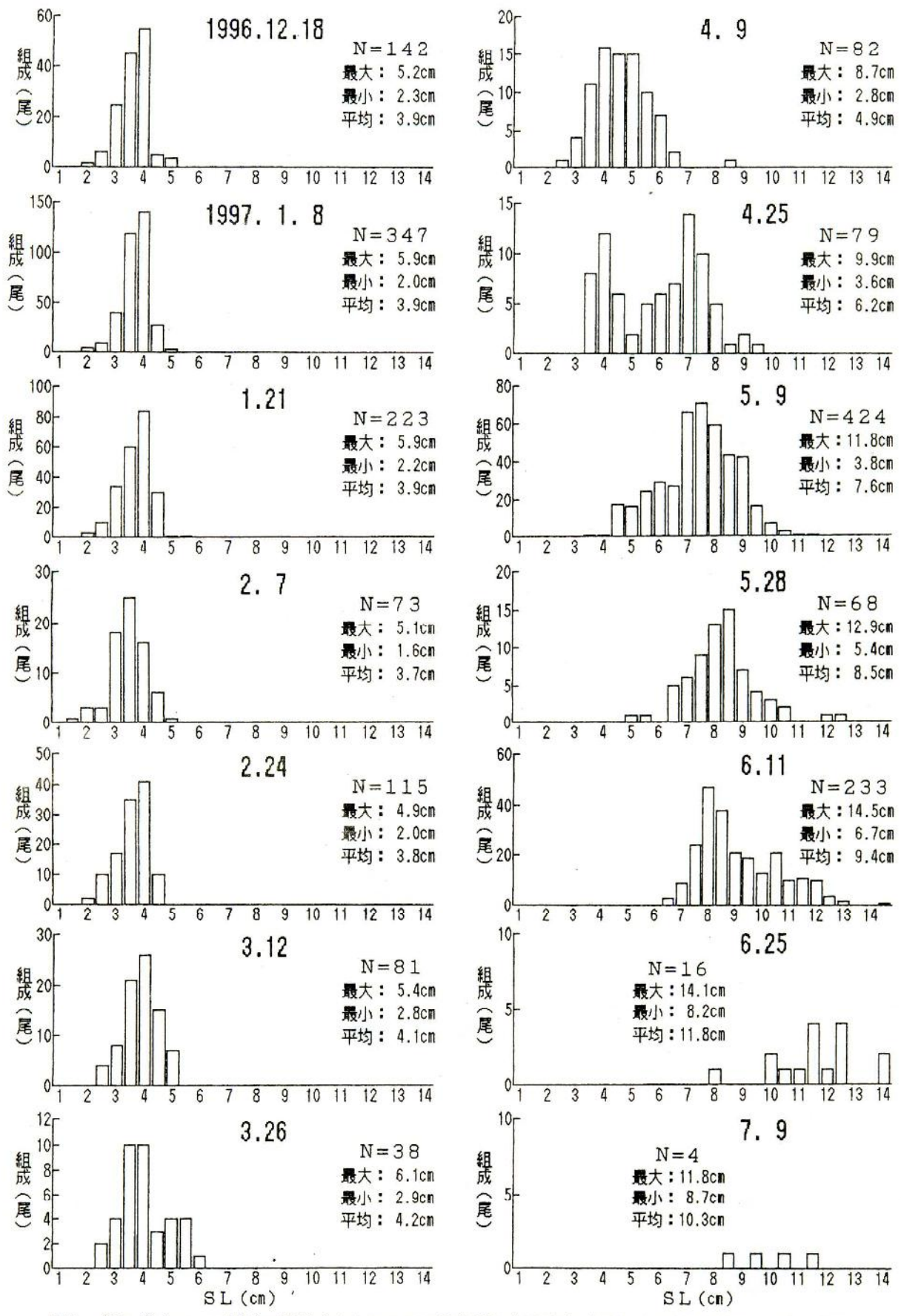


図8 霞ヶ浦トロール試験で採捕されたアユ1996年級群の体長変化 (SL) (1996年12月～1997年7月)

(8) 漁業者による1996年級群の漁獲状況と魚体

アユ1996年級群が漁業者の網に混獲されたのを初確認したのは、12月10日のトロールである。田伏沖から高浜入にかけて操業している表層トロール（シラウオねらい）に少量混獲された。混獲量が多いものでシラウオ20kgにアユ稚魚5g（20尾）程度であった。トロールは12月10日までの許可であり、以後年末にかけては張網に少量混ざったのが確認された程度であった。

年が明けて1997年1月中旬には田伏沖で操業している横曳網（テナガエビねらい）にややまとまった量が混獲された。混獲量が多いものでエビ70～90kgにアユ稚魚70g（100尾）以上であった。

1月下旬から2月上旬にかけてはワカサギ人工採卵のための張網（特採）に混獲された。特に土浦入最上流部の土浦第一漁協の張網で多く、1回の揚網（張網数カ統、2日設置）でアユ稚魚が500尾程度混獲された。その他の地区は1回数尾程度の混獲であった。張網が解禁となった3月からは各地の張網でアユ稚魚の混獲が見られ、4月中旬ころからは漁獲対象となった。

図9に霞ヶ浦3地区の張網漁業者による1997年のアユの漁獲量の推移を示した。データは霞ヶ浦北浦

水産事務所が行った漁獲量調査の数字を用いた。場所は玉里村高崎、麻生町富田、美浦村安中で、各地区1名毎の漁獲量を旬毎に集計した。張網の操業数は玉里のA氏が15カ統、麻生のB氏が6月まで5カ統で7月以降10カ統、美浦のC氏が7カ統であった。3人のアユの年間漁獲量は玉里のA氏が約100kgで、麻生のB氏が約150kgと3人の中では最も多く、美浦のC氏が約40kgと少なかった。最初の漁獲のピークは5月下旬で玉里のA氏が54kg、麻生のB氏で14kgの漁獲があった。漁業者の話ではアユは網の汚れが少ない時に多くとれる傾向がある。玉里のA氏は6月以降テナガエビがとれるようになったのでエビねらいとなり、網を汚れた状態のまま張っていたためアユの漁獲量は減少した。一方、麻生のB氏の張網では6月下旬に53kgと最大のピークがあった。その後減少し、8月から9月上旬はほとんどとれなかったが、9月中旬から下旬にかけて少しとれて漁期は終了した。

また、内水試が聞き取り調査をした麻生町富田のD氏は、操業数が10数カ統であるが、上記の3人より多くの漁獲量があった。よって、D氏については1日当たりの漁獲量を示す。アユが漁獲対象となったのは4月中旬からであったが、5月中旬までは0.5

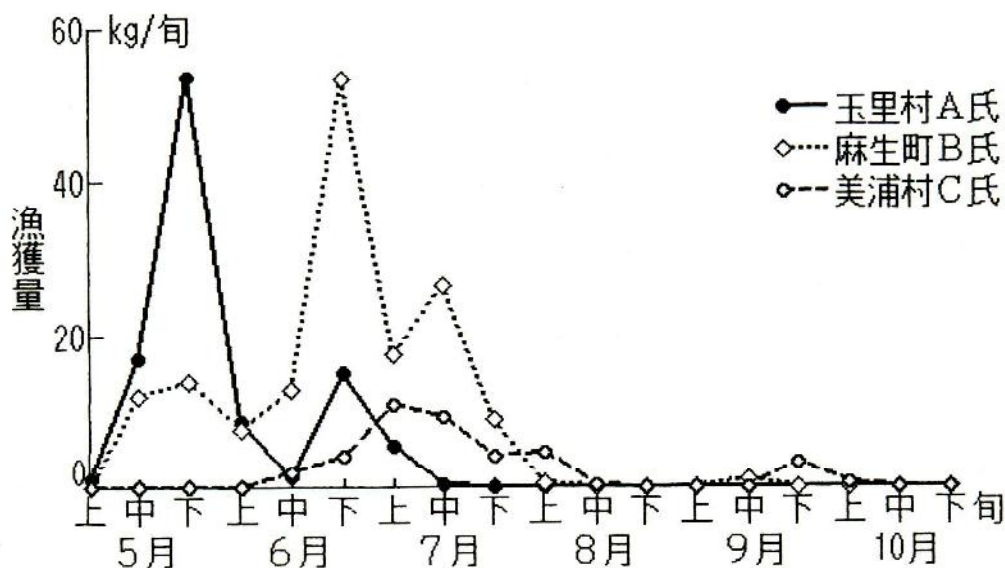


図9 霞ヶ浦の張網によるアユ旬別漁獲量（1997年）
「霞ヶ浦北浦水産事務所調査資料」

～5kgであった。5月下旬には3～20kgに増加し、特に5月24～27日には15～20kgとれた。その後6月中旬までは6～14kgであったが下旬には3～6kg、7月には2～3kgに減少した。しかし、7月上旬に突然この年最高の1日60kgの漁獲があった。8月になると時々1～2尾混じる程度で、9月半ばまではほとんどとれなくなった。9月17～18日に再び1～2kgの漁獲があった。19日以降は時々2～3尾混じる程度となり、10月以降は全くとれなくなった。

上記4人によるアユの漁獲をまとめると、5月から7月までの3ヶ月間が主漁期で、8月から9月上旬はとれず、9月中下旬に少量とれる傾向があった。最初の漁獲のピークは5月下旬であったが、この時は大雨が続いたときであった。2回目のピークの6月下旬も台風の接近による雨があった後である。D氏が1日で60kg漁獲した7月上旬は強い南風があった後である。夏にとれなくなった後再びとれた9月中旬も台風の接近によるまとまった雨があった後である(水戸地方気象台, 1997)。このように張網によるアユ漁獲量は、天候の変化に影響される事が示唆された。

図10に漁業者によって漁獲されたアユ1996年級群の体長組成の推移を示した。1月下旬以降は全て張網でとれたアユの測定データである。4月上旬までは平均が6.5cm以下で販売サイズではなかった。4月中下旬以降大きいものは販売されたが、平均では7.4cmであった。5月中旬までは平均8cm程で、5月下旬には平均9.7cmと大きくなった。しかし、最大14.4cm、最小5.9cmとばらつきが大きかった。その後6月下旬から7月下旬は平均10cm台で成長が見られなかった。8月から9月上旬は漁獲量が極く少なかったため測定できなかったが、9月中旬のアユは最大22.5cm、平均17.2cmの大型群であり、生殖腺が大きくて成熟していた。

(9) 恋瀬川における1996年級群の分布と成長

表9に恋瀬川の投網調査で採捕された調査日毎の

地点別アユ採捕尾数を示した。前年よりも2ヶ月早く調査を開始したが、4月の調査では下流部の東野寺と新治橋でのみ採捕された。5月には調査点全域で採捕され、遡上が上流域まで進んだと見られた。特に川又川で多く採捕されアユの分布密度が高いことが分かった。アユは夏季以降も継続して採捕され、10月下旬の調査まで確認された。

図11に1997年5月から10月の恋瀬川投網調査時の水温と霞ヶ浦の水温の推移を示した。6月中旬から霞ヶ浦の水温は急上昇し、下旬以降表層、底層ともに25℃を超え、9月上旬まで続いた。特に8月上旬には30℃まで上がった。霞ヶ浦の漁獲量が減少した7月から9月上旬は25℃以上の高水温期であった。これに対し、恋瀬川では夏季も25℃を超えることはなく、霞ヶ浦より低く推移した。

図12に恋瀬川の調査日毎のアユの体長組成を示した。4月は平均7.9cmであったが6月には10.3cmとなった。しかし、8月から10月にとれたアユは平均12cm台で成長の様子が確認できなかった。9月以降は前年同様成熟した個体であった。

図13に仔稚魚期から成魚期にかけてのアユ1996年級群の採集法別平均体長の変化を総括して示した。10月から12月の稚魚ネットでは平均0.8mmから2cmへ成長が見られたが、1月から3月中旬の稚魚ネットと試験トロールのアユは成長が見られなかった。3月下旬以降の沖帯の試験トロールでは急激な成長が確認され6月下旬まで続いた。3月下旬からの岸帯の張網ではトロールよりも平均的に大きいアユが漁獲されたが、その差は徐々に小さくなり6月中旬にはほぼ同じ大きさになった。7月になると再び成長が穏やかとなり、8月以降は恋瀬川のみデータであるが、成長の様子が見られなかった。

以上の結果から、アユ1996年級群は霞ヶ浦及びその流入河川(霞ヶ浦水系内)において秋の産着卵から降下仔魚、冬から春の仔魚期から稚魚期、そして夏から秋の成魚期に至る生活史全ステージの出現が確認されたことになった。

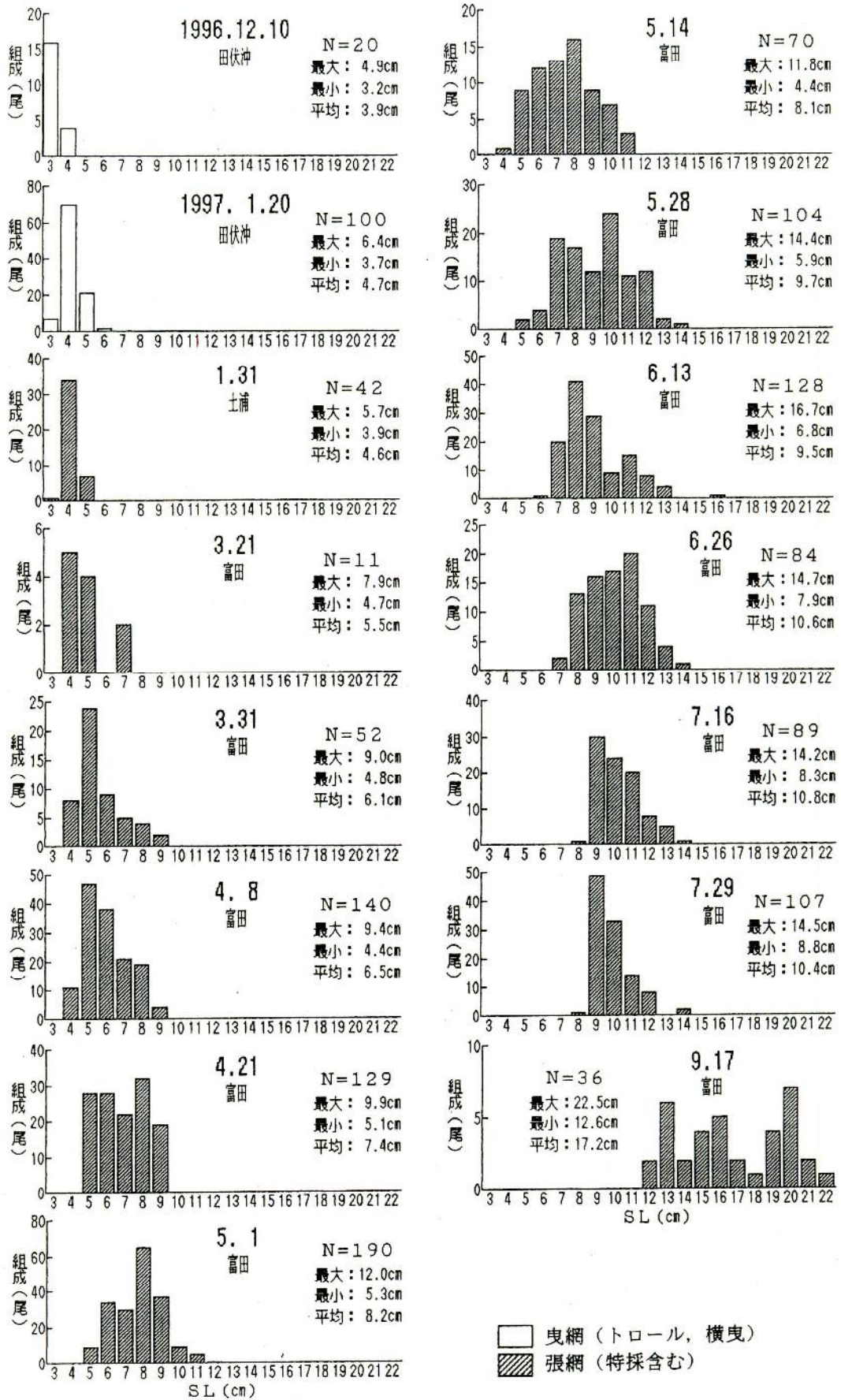


図10 霞ヶ浦で漁獲されたアユ1996年級群の体長変化 (SL)

表9 恋瀬川の投網調査によるアユ採捕結果 (1997年)

単位：尾

地点\月日		4.21	5.15	6.18	7.17	8.19	9.16	10.2	10.20
本流	1 八貝橋	0	2	0	1	1	0	-	-
	2 浦須	0	3	3	3	3	5	-	-
	3 片野	0	1	5	2	3	1	-	-
	4 半田	0	5	-	-	-	-	0	-
	5 東野寺	5	-	3	6	4	9	-	-
川又川	6 石沢橋	0	24	0	3	4	3	1	5
	8 小桜第一堰	-	50	9	0	4	2	0	-
天の川	10 新治橋	3	4	2	2	-	1	1	-
合計		8	89	22	17	19	21	2	5

注) -は、欠測

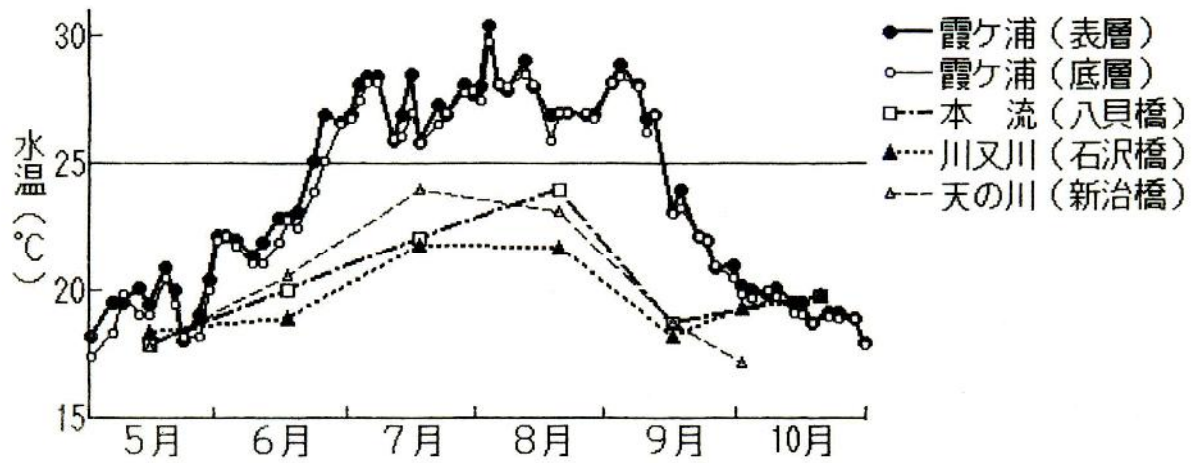


図11 霞ヶ浦及び恋瀬川の夏季水温の推移 (1997年)

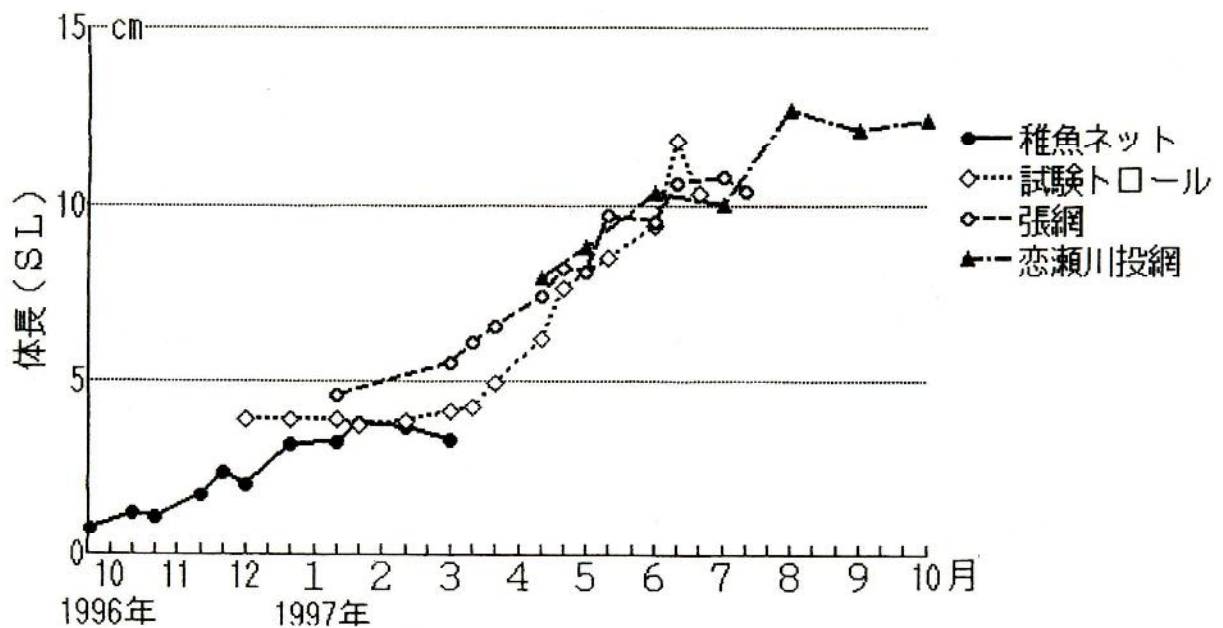


図13 霞ヶ浦アユ1996年級群の採集法別平均体長の変化 (SL)

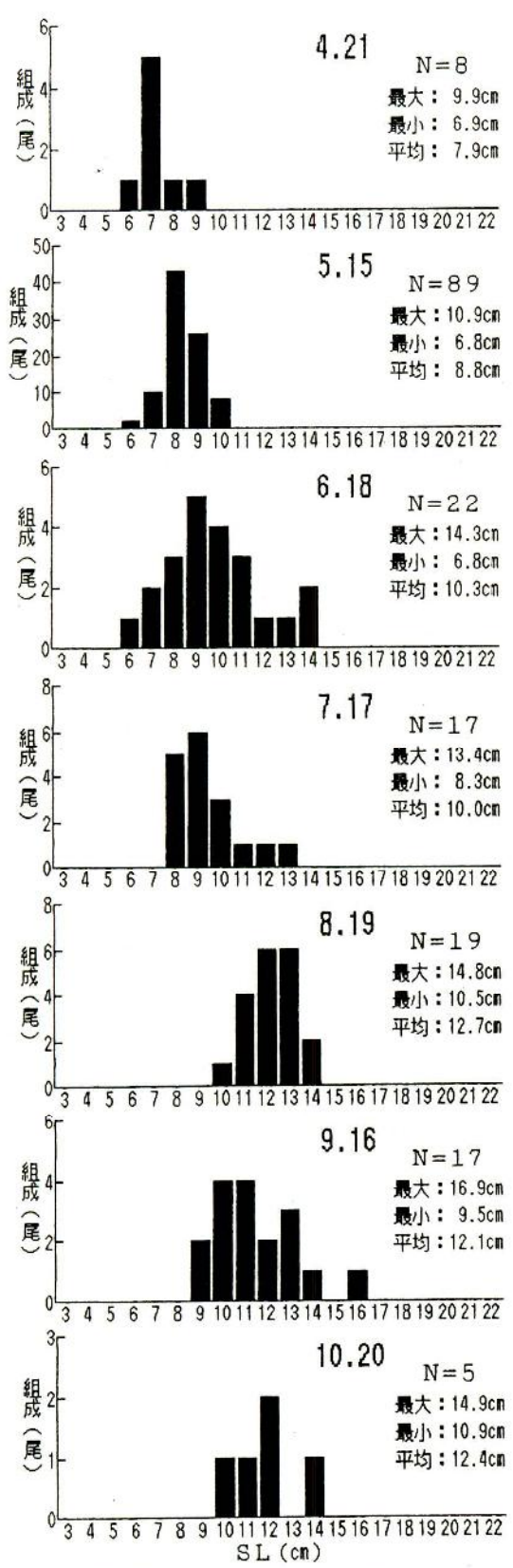


図12 恋瀬川で採捕されたアユ1996年級群の体長変化 (SL) (1997年)

4. 考 察

(1) 霞ヶ浦におけるアユの再生産

今回、霞ヶ浦の流入河川恋瀬川においてアユ産着卵と降下仔魚が採集され、アユが再生産していることが確認された。これで、北浦 (根本ら, 1997) につづき霞ヶ浦においてもアユ再生産個体群が存在することが明らかとなった。今回の調査では産卵場が恋瀬川支流の川又川の1ヶ所しか見つからず、卵の数も少なかったが、降下仔魚は比較的まとまって採集されたことから、産卵場はもっと広範囲に存在すると考えられる。

過去の知見では、久慈川においてふ化直後と思われるアユ仔魚の降下は日没後に始まり、ピークは20時から21時の間であった (茨城県, 1990)。今回恋瀬川の仔魚降下のピークは20時であり、この知見とほぼ一致する。また、調査時の流速が0.3m/s (1.1km/h) と緩やかな流れであったことから、採集ピークの20時に調査地点に到達した仔魚は調査地点からあまり離れていない恋瀬川中～下流域でふ化したものと推察される。しかし、21時から23時にかけても採集数が増加し、調査終了後も減少する様子が見られなかったことから更に上流側にも産卵場があることが考えられる。また、アユの分布する霞ヶ浦の河川は桜川等他にもあることや、成熟アユが秋に湖内の張網でまとまって漁獲されたことから、今後は湖内も含めて産卵場を広く確認する必要がある。

(2) 霞ヶ浦における仔魚期から稚魚期までの成長と分布

霞ヶ浦の稚魚ネット調査において恋瀬川に近い上流部ほど採集尾数が多く小型のものが中心で、下流部ほど少数で大型であった。流入河川のアユ親魚分布調査と併せて考えると、霞ヶ浦高浜入へのアユ仔魚の最大の供給河川は恋瀬川であり、秋に恋瀬川から霞ヶ浦上流部に流下した仔魚は、霞ヶ浦の緩やかな流れに乗って徐々に南下し、分散しながら成長していくと考えられる。

12月以降は最上流部の高崎で仔稚魚がほとんど採集されなくなったが、これは恋瀬川からのアユ仔魚の供給がなくなったためと推察される。このことは、6mm台のふ化後間もない仔魚が12月以降は採集されなかったことから考えられる。稚魚ネットとトロールで採集されたアユ稚魚の成長は12月まで続くが、1月から3月中旬まではほとんど変化しない。過去の知見からアユは4℃以下の水温では育たないことが分かっている（宮地，1994）が、水温が4℃前後に低下する1～3月の霞ヶ浦ではアユはほとんど成長しないと考えられる。

1月8日の表層ビームトロール全域調査からアユ稚魚にとって厳しい冬季の分布域を見たが、湖中央部（沖帯）で多い特徴が見られた。これは、岸帯で多くとれるシラウオの漁獲傾向とは異なり、同じ表層に分布する魚でも主生息域が水平的に違うことが推察される。同様に曳網で漁獲されるワカサギは通常中層曳きで漁獲されるので、アユとは垂直的に分布が異なると見られる。よって、霞ヶ浦においてアユはシラウオ、ワカサギと空間的にすみ分けていて競合関係が小さいことが考えられる。このことはアユが近年霞ヶ浦で急激に増えて定着できた理由の一つと考えられる。霞ヶ浦における「新顔の魚」であるアユと他魚類との競合関係については今後十分に調べる必要がある。

また、ビームトロール調査から霞ヶ浦における冬季のアユ資源尾数を約250万尾と推定したが、仮に250万尾の資源が全て20gで漁獲されたとすると、50トンの漁獲量となる。これは、霞ヶ浦におけるワカサギ、シラウオの漁獲量と比べてはるかに少ない。しかし、推定した数は漁獲率を100%と仮定した場合であり、実際には漁獲率はもっと低く、分布水深も表層（網丈の1.5m）に限られないと予想されることから、資源尾数は更に多いと考えられる。

(3) 稚魚期から成魚期にかけての成長と移動

3月下旬以降の霞ヶ浦のアユは再び成長が見ら

れ、6月下旬に張網で漁獲された群の体長は最大15cm、最小8cm、平均約11cmに達していた。これは琵琶湖の湖内残留群である「コアユ」が成魚期になっても体長8～10cmくらいにしかならない（島津ら，1976）のに比べて大きく、むしろ大河川に遡上したアユの成長に近い。3月下旬から6月下旬にかけての時期はアユにとって適水温となり、富栄養湖である霞ヶ浦の豊富な餌を食べて急成長したものと考えられる。

採集法別では、春季に岸帯の張網でとれたアユが沖帯の試験トロールでとれたものに比べ平均的に大きかったが、その差は徐々に小さくなり6月中旬にはほぼ同等となった。この期間の両漁法でとれたアユの最大値に差はないが最小値が大きく違うことから、この現象は岸と沖のアユの大きさに差があるためではなく、使用漁具の目合の差によるものと考えられる。つまり張網は目合が大きく試験トロールは目合が小さいので、春先の小型群は張網の目合では抜けてしまう。しかし、成長するにつれて張網でも抜ける群が少なくなり、両漁法による漁獲物の差がなくなったためと推察される。

7月以降は湖のアユは成長が見られなかっただけでなく漁獲量も激減した。この時期は水温が26～30℃に上昇したため、適水温が20～24℃であるアユ（島津ら，1976）にとって湖の環境は厳しいものであった。7月に霞ヶ浦に残留していたアユは痩せているものが多く、甲殻類のエルガシルスやイカリムシの寄生が見られる個体が多くなり、生理的に弱くなっていたことが推察される。一方恋瀬川の水温は夏季も25℃以上に上昇することがなく、アユの分布も減少する様子は見られなかった。夏季の高水温期になると湖内に残っていた群は越夏のために水温の低い流入河川に遡上する群と、湖内で死ぬ群に分かれるのではないかと考えられる。

9月中旬には霞ヶ浦の張網で再びアユが漁獲されたがこの時のアユは成熟群であった。水温が下がった9月以降は再び湖に帰る群があると見られるが、

台風の後であったことから、大雨による増水が刺激となっていることが考えられる。石田（1990）によると、陸封アユは川が流れ込んでいる湖では川の下流部に産むが、川がない場合は湖岸に産卵するという。霞ヶ浦流入河川はほとんどが生活排水が流れ込む小河川であり、アユにとって好適な産卵場と成りうる河床が十分にならないため、産卵期になると再び湖岸に戻って来る群があるのではないと思われる。

(4) 霞ヶ浦と流入河川におけるアユの食性と競合

今回、霞ヶ浦湖内において食性を調べたのは7月のトロールでとれたアユのみであったが、ミジンコ類、ユスリカ、イサザアミ等霞ヶ浦の豊富な動物性餌料を利用していることが分かった。これらは、ワカサギやハゼ類等霞ヶ浦の主要魚種の餌でもあり、一部のアユからはハゼ類稚魚、シラウオ稚魚の捕食が確認されたことから、これらの在来種との競合関係は否定できない。しかし、ワカサギ、シラウオ、ハゼ類が成長して生物量が大きくなるのは夏季以降で、この時期には湖内のアユの分布量は極く少なくなるため、アユは時間的にも湖の他魚種との競合が少ない魚種と言える。

また、トロールでとれた高浜入のアユのうち半数のものは付着性藻類を摂食していたが、霞ヶ浦のアユも湖底の石やブロック等に付着している藻類を摂食している群があると考えられる。

霞ヶ浦の流入河川に遡上したアユは大河川のアユと同様に付着性藻類食に転換すると推察される。しかし、付着性藻類が主体となったのは7月以降であった。これは、6月までは付着性藻類の繁殖が十分でなかったためと思われる。

(5) 霞ヶ浦水系におけるアユ増加のメカニズム

今回、アユ1996年級群が生活史の全ステージで霞ヶ浦に分布していることが確認された。これは霞ヶ浦においても北浦（根本ら、1997）と同様に陸封型の再生産個体群が存在していることを示唆している。

石田（1993）の資料によると、霞ヶ浦・北浦は陸封アユが存在する湖としては特異的であると言えるが、その理由を以下に示す。

- ① 平地の浅い湖であり、水温が冬季4℃以下、夏季30℃以上になる
- ② 富栄養湖である
- ③ 放流実績のない湖である

このうち①については、これまでに陸封アユが確認されたのは高地にあるダム湖の例がほとんどである。ダム湖は水深が大きく水温が表層と底層で異なる。霞ヶ浦・北浦のように平地の浅い湖で、夏と冬に表面から底までアユにとって厳しい条件になる場所での陸封化は特異的と考えられる。②については、富栄養湖から中栄養湖までの報告例はあるが、富栄養湖における報告例はない。③についてはダム湖での陸封アユの例は通常人為的放流のものが起源である。霞ヶ浦水系の場合は放流したという記録はないため、隣接する水域からの移動によって加入した資源であると考えられる。

このような条件下でアユが陸封化され増加したメカニズムについての仮説を立てると、まず、前提条件として次の3つが揚げられる。

- ① 常陸川水門による湖の閉鎖と淡水化
- ② 在来魚の減少
- ③ 流入河川環境改善

このうち①については、アユ仔魚が海へ出ないために海への流れが減少する必要があったことと、成長したアユが生息するために淡水化が必要であったことである。この条件は、1973年の水門閉鎖後比較的早い時期に整った。②は競合種が減って空間が空いたことであるが、水門閉鎖後も漁獲量は増加し、1978年に17,487トン（霞ヶ浦・北浦合計）になっている。その後徐々に減少し1995年には4,422トンになったことから、この条件が整うには長い時間が必要であったと推察される。③はアユの越冬と産卵のための必須空間である流入河川環境が利用する条件まで回復したことである。これは流入河川のCODが

1970年代から現在まで減少傾向にあること（茨城県、1997）からも伺える。これについても長い時間がかかったと考えられる。

このような前提条件が整って来た時に陸封アユの親資源が霞ヶ浦水系に大量に添加したと考えられる。これは最初に大量に漁獲された1992年の遡上群で、この年は久慈川や那珂川においてもアユ遡上数が過去10年間の中で最も多いと見られた年であり（石川、1993）、この群が水門を通過する機会があったためと考えられる。霞ヶ浦水系の陸封アユが海産由来か湖産由来かは今後遺伝的特徴を分析して解明する必要があるが、現段階では採集されたアユの産着卵と降下仔魚の大きさが海産アユの特徴（宮地ら、1992）と一致していることから海産系と考えられる。そして、1992年の冬に初めて霞ヶ浦水系でアユ仔魚が発見されたことから、この水系で再生産したアユが陸封化し、その後増加して霞ヶ浦水系でアユの多獲現象が続いていると考えられる。

このようにして霞ヶ浦水系に定着したと考えられるアユは、湖と流入河川を有効に利用し、条件の厳しい水系に適応していると見られる。それは、以下の3つにまとめられる。

- ① 他魚種との時間的・空間的すみ分け
- ② 生息域の季節変化（湖と流入河川の回遊）
- ③ 成長と生息域変化に伴う食性変化

このうち①についてはアユは霞ヶ浦にすむ多くの魚種と異なり秋に産卵するため、餌料（特に初期餌料）の競合が小さく有利であるが、空間的にもワカサギ、シラウオ等とのすみ分けが考えられることである。

②については、卵は秋に流入河川でふ化し直ちに湖に流下する。冬から春の低水温期は主に競合種の少ない湖の沖帯で過ごし、4月～6月の適水温期は湖に残る群と流入河川に遡上する群に分かれ、霞ヶ浦水系に広く分布し急成長する。7月～9月の夏季高水温期は流入河川にのみ分布し、秋の産卵期に産卵場として利用する。このように湖と流入河川を回遊し最大限に利用していることである。

③については、仔稚魚期は湖においてミジンコ類等のプランクトンを捕食し、幼魚から若魚期は湖内残留群はミジンコ類からイサザアミ、ユスリカ類主体に変化し、河川遡上群はユスリカ類等の動物食から徐々に付着性藻類食に移行する。若魚から成魚期は河川において完全な付着性藻類食となり、藻類を独占的に摂食する。このように成長や生息環境の変化に合わせて食性が幅広く変化することである。

このように霞ヶ浦のアユは、多くの淡水魚と産卵期が異なる種特異性に加え、生息域を季節的に大きく変えることや、食性を環境に合わせて巧みに変化させることによって厳しい環境に適応していると考えられる。霞ヶ浦におけるアユの生態を研究することは人為的に環境が大きく変わった湖の生態系の変化を捉える意味とアユという魚種の適応力の高さを考える意味で興味深いことである。

5. 要 約

- (1) 霞ヶ浦の流入河川恋瀬川で1996年秋にアユの成熟、産卵が確認された。
- (2) 恋瀬川で降下仔魚が採集され、1996年級群の発生が確認された。
- (3) 霞ヶ浦における仔稚魚の分布は上流域の方が小型の仔魚が多く採集され、湖内で徐々に下流域に分散しながら成長するものと見られた。
- (4) 霞ヶ浦において冬季低水温期はアユの成長が見られなかったが、3月下旬から6月下旬まで急成長した。
- (5) 7月以降の夏季高水温期には霞ヶ浦に分布するアユは激減し、流入河川にのみまとまった分布が見られた。
- (6) 霞ヶ浦及び流入河川においてアユ1996年級群の全生活史が完了していると見られ、陸封型のアユ再生産個体群が存在していることが示唆された。
- (7) 霞ヶ浦水系のアユは水温等の厳しい環境下で、生息域や食性を季節的に大きく変化させて適応していると考えられる。

謝 辞

本研究を行うにあたり，東京大学海洋研究所資源生物部門の猿渡敏郎博士には調査方法及びアユ仔魚の同定についてご指導を頂いた。田余漁業協同組合の原田富雄組合長，麻生町漁業協同組合の海老沢貞氏，和夫氏には霞ヶ浦のアユ標本の提供及び漁業情報の提供をして頂いた。以上の方々に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 茨城県 (1990) : 平成元年度保護水面管理調査報告書，59-72
- 茨城県 (1997) : 霞ヶ浦関係資料集，流入河川の水質，26-27
- 石田力三 (1990) : アユの産卵場，水産増殖，38，2，207-208
- 石田力三 (1993) : アユの放流技術について，土木研究所講演会資料，13-15

- 石川弘毅 (1993) : 霞ヶ浦北浦で採集されたアユについて，茨内水試研報，29，36-45
- 岩井 保 (1985) : 水産脊椎動物Ⅱ魚類，恒星社厚生閣，229-230
- 水戸地方气象台 (1997) : 茨城県気象月報，5月-9月
- 宮地傳三郎・川那部浩哉・水野信彦 (1992) : 原色日本淡水魚図鑑 (12刷)，保育社，108-114
- 宮地傳三郎 (1994) : アユの話，岩波書店
- 根本隆夫 (1995) : 冬期北浦を中心に混獲されたアユ仔稚魚について，茨内水試研報，31，98-101
- 根本隆夫・久保田次郎・中村 誠・杉浦仁治 (1997) : 霞ヶ浦水系におけるアユの生態学的研究-Ⅱ，北浦産1995年級群について，茨内水試研報，33，1-16
- 沖山宗雄編 (1988) : 日本産稚魚図鑑，東海大学出版会，65-72
- 島津忠秀・石田力三・金子徳五郎・伏木省三・西村章作 (1976) : 養殖講座第3巻鮎，緑書房，9-32